



Relación entre el Módulo de Elasticidad Global y Local en Elementos Estructurales de Populus Deltoides 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' Cultivados en Argentina

Relationship between the global and local modulus of elasticity in structural elements of Populus deltoides 'Australian 129/60' and 'Stoneville 67' grown in Argentina

Presentación: 14/10/2020

Aprobación: 09/12/2020

Alfredo Aníbal Guillaumet

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad tecnológica Nacional - Argentina
aaguillaumet@frvt.utn.edu.ar

Roberto Daniel Manavella

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad tecnológica Nacional - Argentina
rdmanavella@frvt.utn.edu.ar

María Cecilia Filippetti

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad tecnológica Nacional - Argentina
mcfilippetti@frvt.utn.edu.ar

Lia Caren Meyer

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad tecnológica Nacional - Argentina
lmeyer@frvt.utn.edu.ar

Resumen

En este trabajo se compara el valor del módulo de elasticidad local obtenido

experimentalmente, con el determinado teóricamente de acuerdo a tres criterios reconocidos internacionalmente (UNE-EN 384 2016, INTI-CIRSOC 2016 y Denzler et al. 2008).

El programa experimental se desarrolló de acuerdo a normas europeas sobre 396 elementos estructurales de madera aserrada de *Pópulus deltoides*, clones 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67', cultivados en el delta del río Paraná en Argentina. Se confirmó la alta correlación entre el módulo de elasticidad local y el módulo de elasticidad global. Se constató la incidencia que, en la relación entre ambos módulos, tiene la exigencia normativa de ubicar los mayores defectos en el tercio central al ensayar las piezas.

La determinación del módulo de elasticidad local a partir del módulo de elasticidad global, empleando los 3 criterios elegidos para tal fin, presentó resultados menores a los experimentales, con una aproximación superior al 96%, por lo tanto el uso de cualquiera de los métodos presentados nos sitúa del lado de la seguridad.

Palabras claves: *Populus deltoides*, Módulo de elasticidad, Rigidez, Deformaciones por corte

Abstract

This work compares the value of the local modulus of elasticity obtained experimentally with that determined from the global modulus of elasticity according to three internationally recognized criteria (UNE-EN 384 2016, INTI-CIRSOC 2016 and Denzler et al. 2008). The experimental program was developed, according to European standards, on 396 structural elements of *Pópulus deltoides* sawn wood, clones 'Australian 129/60' and 'Stoneville 67', grown in the delta of the Paraná River in Argentina. The high correlation between the local modulus of elasticity and the global modulus of elasticity was confirmed. The incidence that, in the relationship between both modules, has the normative requirement to locate the greatest defects in the central third when testing the pieces was found. The determination from the global modulus of elasticity presented lower results than the experimental ones with an approximation greater than 96%.

Keywords: *Populus deltoides*, Modulus of elasticity, Stiffness, Shear deformations

Introducción

El diseño de estructuras de madera exige, por un lado, garantizar la seguridad estructural frente a las solicitaciones, y por otro, la necesidad de verificar las deformaciones y vibraciones. En estas últimas verificaciones el módulo de elasticidad resulta un parámetro imprescindible.

La relación entre el módulo de elasticidad global ($E_{m,g}$) y el módulo de elasticidad libre de la influencia del corte, denominado módulo de elasticidad local ($E_{m,l}$), ha merecido la atención de normas e investigadores debido a la importancia que adquiere el conocimiento de este último en casos tales como el estudio de la deformación axial y la carga crítica en barras esbeltas comprimidas.

Las normas UNE-EN 408 (2012) y la IRAM 9663 (2013) presentan procedimientos experimentales para la determinación del módulo de elasticidad local (flexión pura) y del módulo global (flexión y corte). La determinación del módulo de elasticidad global tiene las ventajas de requerir la medición de deformaciones en un solo punto y de mayor magnitud que las del módulo local, pero su valor incorpora las deformaciones por la flexión y por el corte en los

tercios extremos de la pieza. El módulo de elasticidad local incluye solo las deformaciones por flexión, pero presenta como desventaja que se miden las deformaciones sobre una longitud menor, se debe hacer sobre las dos caras y resultan de muy pequeña magnitud lo que puede conducir a un mayor riesgo de error. Dado que se trata de ubicar las singularidades de mayor incidencia en las propiedades mecánicas, por ejemplo, los nudos de mayor dimensión, en el tercio central de la pieza (zona del mayor momento constante y sin influencia del corte), pueden existir casos en que el módulo de elasticidad local resulte menor que el global.

En el Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2006) las deformaciones se calculan teniendo en cuenta el módulo de elasticidad local obtenido en flexión pura. La norma UNE-EN 384 (2016) en las relaciones que permiten estimar el módulo de elasticidad para otras sollicitaciones utiliza el módulo de elasticidad local. De igual manera la norma UNE-EN 338 (2010) lo utiliza para decidir la inclusión en una clase resistente. Estas razones, entre otras, conducen a la necesidad de la determinación del módulo de elasticidad libre de la influencia del corte.

En Argentina el módulo de elasticidad en flexión presentado en las normas IRAM 9662-1/2/3/4 (2015) y en los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera INTI-CIRSOC 601 (2016) es el módulo de elasticidad global. El mencionado reglamento utiliza este módulo para la determinación de las deformaciones, en línea con el criterio de las NDS (2018) y asume una influencia del esfuerzo de corte del 5%.

Existen diferentes criterios para la determinación del módulo de elasticidad local a partir del módulo global. La norma UNE-EN 384 (2016) presenta una expresión para determinar el valor medio del módulo de elasticidad local a partir del módulo en flexión pura. Si resulta conocido el valor del módulo de elasticidad transversal (G), la norma UNE-EN 408 (2012) presenta una expresión para determinar el módulo de elasticidad global en flexión que incluye un término para minimizar el efecto del esfuerzo de corte. Si bien la misma norma incluye un procedimiento experimental para la determinación del módulo de elasticidad transversal (G), el mismo presenta la complejidad de medir deformaciones muy pequeñas y requiere equipamiento muy preciso para su determinación. Denzler et al. (2008) propusieron una expresión sencilla para determinar el módulo de elasticidad local a partir del módulo global. La norma ASTM D198 (2015) también propone una fórmula alternativa para corregir la influencia del esfuerzo de corte sobre el valor del módulo de elasticidad, en este caso, como en la expresión propuesta en la norma UNE-EN 408 (2012), se necesita conocer el valor de G. En Argentina, como se mencionó en el párrafo anterior, el reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016) asume una diferencia de un 5% entre el módulo de elasticidad global y el local.

El álamo (chopo), género *Populus* sp., se inserta en la familia de las salicáceas. En Argentina la superficie cultivada se encuentra en el tercer lugar de importancia, siendo precedido por los pinos y eucaliptus. En el Delta del río Paraná se destacan los clones ‘Australiano 129/60’, ‘Australiano 106/60’ y ‘Stoneville 67’ (Borodowski 2006).

La madera de *Populus deltoides* del delta del río Paraná presenta aceptables valores de la resistencia y rigidez, propiedades que a su vez se destacan positivamente en relación a su densidad (Cortizo et al. 2017; Guillaumet et al. 2017; INTI CIRSOC 2016; Guillaumet et al. 2014; Filippetti et al. 2015; Ramos et al. 2014). Por su parte, y como referencia acerca de la consideración de este material en el plano internacional, puede citarse que la norma UNE-EN 1912 (2010) se le asignan a la madera de chopo (álamo) distintas calidades estructurales que van desde una calidad C18 hasta una C27 (según las clases definidas en la norma UNE-EN 338 2010), variando con el país de origen y la norma de clasificación.

Con el propósito de comparar los resultados experimentales con los adoptados por las

reglas de diseño de Argentina y otros criterios de relieve internacional, se derivó a partir del valor del módulo de elasticidad global ($E_{m,g}$) el módulo de elasticidad local ($E_{m,l}$) siguiendo los lineamientos del Reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016), la norma UNE-EN 384 (2016) y la propuesta de Denzler et al. (2008).

Materiales y Métodos

El material para este trabajo se obtuvo de plantaciones de *Populus deltoides* radicadas en el delta del río Paraná. Se trabajó con dos plantaciones del clon 'Australiano 129/60' y una del 'Stoneville 67'. En las tres plantaciones las prácticas silviculturales y las edades de tala fueron representativas de la población a estudiar. La madera se aserró en estado verde y se remitió al laboratorio del Grupo GIDEC -Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles - de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional. La madera se acopió entablillada y se la mantuvo así hasta que su contenido de humedad fue inferior al 20%. Cuando alcanzó esa condición se procedió al cepillado de las cuatro caras y se comenzaron las tareas de incorporación de la nomenclatura, marcado y medición de defectos, se descartaron las piezas que presentaban signos de ataque de insectos de acuerdo a las exigencias de la norma IRAM 9662-4 (2015) para madera estructural. Finalmente se almacenaron en un recinto a 20°C de temperatura y 65% de humedad. Para este trabajo se eligieron cuatro muestras de cada clon, abarcando un total de 396 vigas. La Tabla 1 presenta el detalle de las vigas utilizadas.

Muestra	Clon	Cantidad n	Dimensiones nominales			Plantación N°	Edad años
			Base mm	Altura mm	Largo mm		
1	A	48	50	75	1500	1	13
2	A	65	25	100	2000	1	13
3	A	49	50	100	2000	1	13
4	A	44	50	150	3000	2	13
5	S	48	50	75	1500	3	16
6	S	48	25	100	2000	3	16
7	S	49	50	100	2000	3	16
8	S	45	50	150	3000	3	16

A: *Populus deltoides* clon 'Australiano 129/60'; S: *Populus deltoides* clon 'Stoneville 67'

Tabla 1: Detalle de las vigas incluidas

Las singularidades (defectos) fueron relevados conforme al criterio de las normas UNE-EN 1310 (1997) e IRAM 9662-4 (2015). El material fue clasificado visualmente por resistencia según el método adoptado por IRAM 9662-4 (2015). Se denominó como Residuo a todas las vigas que no cumplieron los requisitos establecidos para ser asignadas a alguno de los dos grados previstos por la norma.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 408 (2012). La luz entre apoyos fue de 18 veces la altura y las cargas se aplicaron en los tercios de la luz. El ensayo se realizó dentro de un pórtico con un sistema hidráulico para aplicación de las

cargas. Se midió la deformación en el centro de la viga para la determinación del $E_{m,g}$ (precisión 0,01 mm) y en ambas caras laterales para el $E_{m,l}$ (precisión 0,001 mm), en una longitud de 5 veces la altura centrada con la luz. En la Fig. 1 se aprecia la ubicación del comparador dispuesto en la cara H2 para la medición de las deformaciones correspondientes al módulo local, no se aprecia el ubicado simétricamente en la cara H1 y el comparador en la parte inferior de la viga para la medición de las deformaciones correspondientes al módulo global.

El contenido de humedad y la densidad se determinaron según las normas ISO 3130 (1975) e ISO 3131 (1975) respectivamente, luego de finalizado el ensayo. Se empleó un trozo de sección completa cercano a la zona de rotura y libre de defectos.



Fig. 1: Ubicación de comparadores para la medición de las deformaciones

Resultados y Discusión

Valores experimentales para el módulo de elasticidad global y local.

En la Tabla 2 se presentan los principales resultados obtenidos experimentalmente para el módulo de elasticidad global ($E_{m,g}$) y el módulo de elasticidad local ($E_{m,l}$). Todos los resultados están ajustados a un contenido de humedad del 12% conforme a los criterios de la norma UNE-EN 384 (2016), los cuales son similares a los propuestos en la norma IRAM 9664 (2013).

		Clasificadas visualmente ⁽¹⁾			
		Todas	Grado 1	Grado 2	Residuo
$E_{m,g}$ N/mm ²	Mínimo	6.642	6.974	6.642	7.253
	Medio	10.374	10.539	10.494	9.097
	Máximo	14.913	14.913	14.174	12.488
	DE	1.628	1.700	1.486	9.097
$E_{m,l}$ N/mm ²	Mínimo	5.849	7.392	6.046	5.849
	Medio	11.201	11.394	11.353	9.654
	Máximo	18.992	16.915	18.992	14.546
	DE	2.098	2.065	2.015	2.009
n		396	188	168	40

(1) Según norma IRAM 9662-4 (2015). DE: desvío estándar.

Tabla 2: Valores experimentales del módulo de elasticidad global y local

El método de clasificación utilizado (IRAM 9662/4 2015) no genera en valores medios de los módulos de elasticidad diferencias apreciables entre los Grados 1 y 2. Para el módulo de elasticidad global se obtuvo un coeficiente de variación entre 14% y 16%, para el módulo de elasticidad local el valor experimentó un ligero aumento y se ubicó entre el 18% y el 21%. Se puede atribuir este crecimiento a que, de acuerdo con los lineamientos de la norma de ensayo, los mayores defectos se ubicaron en el tercio central de las piezas y ello aumentó la dispersión de valores. En la misma línea, se aprecia que en el Grado 2 y en el Residuo se obtuvieron, para el módulo de elasticidad local, valores mínimos inferiores a los obtenidos para el módulo de elasticidad global.

Los valores medios de módulo de elasticidad local resultaron, para la muestra completa y los Grados 1 y 2, un 8% superiores a los obtenidos para el módulo global, ver Tabla 2, mientras que para el Residuo la diferencia se redujo al 6%. Las diferencias obtenidas para los Grados 1 y 2 son ligeramente superiores al 6%-7% reportado por Piter et al. (2003) para el *Eucalyptus grandis* de Argentina y superior a las informadas por Fank et al. (2016) para el pino resinoso del nordeste argentino (5%-6%).

Se observa una fuerte correlación entre ambos módulos de elasticidad, con un coeficiente de correlación $R=0,88$ (valor $P>0,05$). En la Fig. 2 se grafica la correlación mencionada, se puede apreciar que existen puntos que indican que en varias probetas resultó $E_{m,l} < E_{m,g}$.

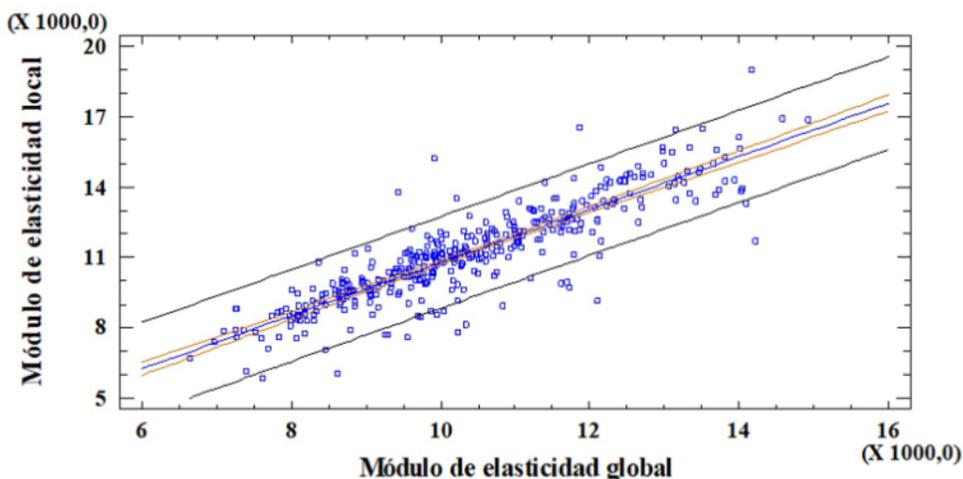


Fig. 2: Gráfico de correlación entre los módulos de elasticidad global y local

Con el objeto de analizar las piezas que presentaron un valor de módulo de elasticidad local inferior al global se realizó un análisis estadístico de las mismas, en la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos. Se observa que, en los Grados 1 y 2, el 11% de las piezas mostraron valores de módulo de elasticidad local inferior al global, mientras que para en el Residuo el porcentaje alcanzó el 28%. Piter et al. (2003) para el *Eucalyptus grandis* de Argentina obtuvo un resultado similar, reportó que un 12 % de las piezas presentaron valores $E_{m,l} < E_{m,g}$, por otro lado Fank et al. (2016) para el pino resinoso del nordeste Argentino Fank et al. (2016) informaron que un porcentaje mucho mayor (40%) de las piezas presentaron valores de $E_{m,l} < E_{m,g}$. Se determinó el valor medio (VM ($E_{m,l} - E_{m,g}$)) de las diferencias entre el valor del módulo de elasticidad local y el global solo para las piezas que presentaron $E_{m,l} < E_{m,g}$. Se aprecia que el valor medio así calculado aumenta con la disminución de la calidad de la madera, para el Grado 1 representa 7% del módulo de elasticidad global, para el grado 2 el 11% y para el descarte el 12%. La especie presenta una baja correlación entre la dimensión del nudo mayor y el módulo de elasticidad local y el global, con $R=0,18$ y $R=0,20$ respectivamente. La explicación para estos casos de $E_{m,l} < E_{m,g}$ se encuentra en que en el módulo de elasticidad no influye solo la dimensión del nudo mayor sino la cantidad de secciones con nudos que presenta la pieza en la luz sobre la que se miden las deformaciones, y en estos ensayos se ubicó la sección con los mayores defectos en el tercio central.

	Todas	Clasificadas visualmente ⁽¹⁾		
		Grado 1	Grado 2	Residuo
n	396	188	168	40
$E_{m,l} < E_{m,g}$	n (%)	50 (13%)	21 (11%)	11 (28%)
$E_{m,g}$	N/mm²	10.374	10.539	9.097
VM ($E_{m,l} - E_{m,g}$)	N/mm²	968	747	1189
VM ($E_{m,l} - E_{m,g}$) / $E_{m,g}$	%	9	7	11

1) Según norma IRAM 9662-4 (2015). $E_{m,l}$: módulo de elasticidad local. $E_{m,g}$: módulo de elasticidad global. VM ($E_{m,l} - E_{m,g}$): valor medio de la diferencia entre el valor del módulo de elasticidad local y global para las piezas con $E_{m,l} < E_{m,g}$, en valor absoluto. N: número de piezas

Tabla 3: Análisis de las piezas que presentaron módulo de elasticidad global superior al local

Obtención del módulo de elasticidad local a partir del módulo de elasticidad global

Con el propósito de comparar los resultados experimentales con los adoptados por las reglas de diseño de Argentina y otros criterios de relieve internacional, se derivó a partir del valor del módulo de elasticidad global ($E_{m,g}$) el módulo de elasticidad local ($E_{m,l}$) siguiendo los tres lineamientos que se describen a continuación:

Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (INTI-CIRSOC 2016):

$$E_{m,l(C601)} = 1,05 \times E_{m,g} \quad (1)$$

Norma europea (UNE-EN 384 2016)

$$E_{m,l(EN384)} = E_{m,g} \times 1,3 - 2690 \quad (2)$$

Propuesto por Denzler et al. (2008):

$$E_{m,l} = 1,2 \times E_{m,g} - 1400 \quad (3)$$

Los resultados presentados en la Tabla 4 indican que los tres criterios utilizados para derivar, a partir $E_{m,g}$, el valor del módulo de elasticidad local, arrojan resultados menores a los obtenidos experimentalmente para $E_{m,l}$. La relación entre los valores calculados según los tres criterios y el módulo de elasticidad local obtenido experimentalmente ($E_{m,l}$), que se indican entre paréntesis, oscilan entre 0,96 y 0,99.

Calidad	$E_{m,g}$ N/mm ²	$E_{m,l}$ N/mm ²	$E_{m,l(C601)}$ N/mm ²	$E_{m,l(EN384)}$ N/mm ²	$E_{m,l(D)}$ N/mm ²	n
Todas	10.374	11.201	10.893 (0,97)	10.796 (0,96)	11.049 (0,99)	396
Superior	10.539	11.394	11.066 (0,97)	11.011 (0,97)	11.247 (0,99)	188
Inferior	10.494	11.353	11.019 (0,97)	10.952 (0,96)	11.193 (0,99)	168
Residuo	9.097	9.654	9.552 (0,99)	9.136 (0,95)	9.516 (0,99)	40

$E_{m,g}$ y $E_{m,l}$: valores medios del módulo de elasticidad global y local, respectivamente, obtenidos experimentalmente según UNE-EN 408 (2012); $E_{m,l(C601)}$, $E_{m,l(EN384)}$ y $E_{m,l(D)}$: módulo de elasticidad libre del esfuerzo de corte derivado de $E_{m,g}$, según el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 (INTI-CIRSOC 2016), la norma europea UNE-EN 384 (2016) y el criterio propuesto por Denzler et al. (2008) respectivamente; (): cociente entre el módulo de elasticidad de la celda y el valor correspondiente de $E_{m,l}$.

Tabla 4: Valor medio de $E_{m,l}$ obtenido experimentalmente en comparación con los derivados a partir de $E_{m,g}$

El rango de oscilación de la relación (0,96-0,99) convalida la aptitud de los tres criterios para interpretar el comportamiento del material analizado; los cuales emergen como una solución razonable para evitar el trabajo experimental necesario para determinar $E_{m,l}$, el cual lleva implícitas las complejidades descriptas anteriormente. No obstante, se destaca por su mayor precisión el propuesto por Denzler et al. (2008) que arroja valores aún más cercanos a la unidad que los restantes (0,99). Resultados publicados por Fank et al. (2018) indican que este criterio fue también el más preciso para derivar el valor del módulo local a partir del global obtenido experimentalmente en madera de pino resinoso del nordeste de Argentina.

Conclusiones

La discusión de los resultados experimentales de los valores del módulo de elasticidad local y global permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- Existe una alta correlación ($R=0,88$) entre los valores del módulo elasticidad local y el global.
- Los valores medios de módulo de elasticidad local resultan superiores a los del módulo global, para toda la muestra en conjunto y para la misma clasificada visualmente. La diferencia en los Grados estructurales 1 y 2 fue del 8%.
- El módulo de elasticidad local presenta un mayor coeficiente de variación que el módulo global como consecuencia de la ubicación de los mayores defectos en el tercio central de la pieza al realizar los ensayos.
- Un pequeño porcentaje de las piezas (13%) presentó un valor del módulo de elasticidad local menor al global, con un 11% de las piezas en los Grados 1 y 2 y un 28% en el Residuo. En las piezas que presentaron esta particularidad la diferencia media entre el módulo de elasticidad global y local aumentó con la disminución de la calidad de la madera.

La discusión de los distintos criterios para determinar el valor del módulo de elasticidad local a partir del global permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- El rango de variación de la relación entre los valores del módulo de elasticidad local, derivados de $E_{m,g}$ según tres criterios de reconocimiento internacional, y los resultados experimentales de $E_{m,l}$ convalida la validez de los criterios para el material analizado. La mayor precisión fue alcanzada con el criterio propuesto por Denzler et al. (2008).
- El criterio aplicado en el reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016) para determinar el $E_{m,l}$ está justificado por su aproximación a los resultados experimentales.

Referencias

ASTM D198 (2015) Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.

Borodowski, E.D. (2006). Álamos y sauces en el delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. Disertación. Actas de las Jornadas de Salicáceas.

Cortizo, S.; Monteverde, M.S.; Abbiati (2017). Caracterización de la madera de cinco clones de *Populus deltoides* seleccionados dentro del programa de mejoramiento de INTA. CLEM+ CIMAD 2017. Junín, Argentina.

Denzler, J.; Stapel, P.; Glos, P. (2008). Relationship between global und local MOE. CIB W18. Meeting 41, Paper 41-10-3, 9 pp. St. Andrews, Canadá.

Eurocódigo 5. EN 1995-1-1 (2006). Design of timber structures - Part 1-1: General. Common rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.

Fank, P.; Piter J. (2016)- Influencia del esfuerzo de corte en la determinación del módulo de elasticidad de vigas de madera aserrada. Análisis para el pino resinoso cultivado en el noreste de Argentina. Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires, Argentina.

Filippetti, M.C.; Guillaumet, A.A.; Manavella, R.D.; Guillaumet, M.P. (2015). Uso estructural de la madera de álamo. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. Belo Horizonte, Brasil.

Guillaumet, A.A.; Filippetti, M.C.; Acuña Rello, L.; Piter, J.C. (2014). Utilización de la madera de álamo en elementos estructurales. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, Uruguay.

INTI CIRSOC (2016). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires, Argentina, disponible en: <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/601/CIRSOC601-completo.pdf>.

IRAM 9662-1 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*). Buenos Aires.

IRAM 9662-2 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 2: Tablas de *Eucalyptus grandis*. Buenos Aires.

IRAM 9662-3 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 3: Tablas de Pino taeda - elliotti. Buenos Aires.

IRAM 9662-4 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 4 - Tablas de

álamo 'australiano 129/60' y 'Stoneville 67' (*Populus deltoides*). Buenos Aires.

IRAM 9663 (2013). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

IRAM 9664 (2013). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

ISO 3130 (1975). International Organization for Standardization. Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests.

ISO 3131 (1975). International Organization for Standardization. Wood – Determination of density for physical and mechanical tests.

NDS (2018). National Design Specification for Wood Construction. American Forest & Paper Association, Washington.

Piter, J.C.; Zerbino R.L; Blaß H.J. (2003). Relationship between global and local modulus of elasticity in beams of argentinean *Eucalyptus grandis*. *Maderas. Ciencia y tecnología* v. 5 n. 2: 107-116, versión On-line ISSN 0718-221X. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2003000200002>. Concepción. Chile.

Ramos, R.; Sosa Zitto, M.A.; Gómez, R., Torrán, E., Piter, J.C. (2014). Madera laminada encolada estructural de álamo. Determinación empírica de su comportamiento mecánico. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, Uruguay.

UNE EN 338 (2010). Madera estructural. Clases resistentes. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE EN 338 (2010). Erratum (2011). Madera estructural. Clases resistentes. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE-EN 384 (2016). Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE EN 408 (2012). Madera aserrada y madera une-laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE EN 1310 (1997). Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de singularidades. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.